جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست‌وهفت، پاییز ۱۳۹۷

صص ۱۰۴- ۸۹

DOI: 10.22067/geo.v7i3.67279

تأثیر تغییر اقلیم بر روند وقایع فرین بارشی ایستگاه‌های منتخب استان خراسان رضوی (مطالعه موردی: ۲۰۱۳-۱۹۷۵)

جمیله قلی پور - دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

سید محمد موسوی بایگی[1]- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

مهدی جباری نوقابی- استادیار گروه آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۳/۱۹

چکیده

در دهه‌های اخیر وقایع حدی و یا اصطلاحاً فرین بارش و دما تغییرات چشمگیری از لحاظ مکان، زمان و شدت شاهد بوده‌اند که تعیین چگونگی و مقدار آن به دلیل تأثیری که بر جان و مال بشر و نیز اکوسیستم‌های طبیعی دارد، به یکی از دغدغه‌ها و مشکلات بشر در سراسر جهان تبدیل شده است. افزایش آشکار دمای کره زمین علاوه بر اثر مستقیمی که بر دماهای حدی دارد، باعث تغییراتی در فرکانس و شدت وقوع رخدادهای حدی بارشی می‌شود. در این مطالعه داده‌های روزانه بارش ۹ ایستگاه سینوپتیک و تبخیرسنجی فعال که دارای دوره زمانی بلندمدت بودند برای سال‌های ۱۹۷۵-۲۰۱۳ مورد استفاده قرار گرفت. بررسی همگنی، یافتن نقاط شکست و نیز اصلاح سری‌های زمانی داده‌ها به کمک بسته نرم‌افزاری RHtests-dlyPrcp صورت گرفت. تعیین روندهای مشاهده شده در شاخص‌های بارشی با استفاده از بسته RClimDex1 و تعیین معناداری روند در شاخص‌ها نیز به کمک آزمون آماری ناپارامتری من-کندال و توسط بسته trend صورت گرفت. در این مطالعه تعداد روزهایی از سال که بارش‌های بیشتر از ۱ میلی‌مترR1mm و ۱۰ میلی‌متر R10mm را شاهد خواهند بود، و نیز بیشترین مقدار ۵ روز RX5day و ۱ روز RX1day متوالی بارشی؛ شاخص‌هایی هستند که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه شاهد روندی معنادار هستند (اکثراً افزایشی و برخی کاهشی). شاخص‌های مجموع بارش سالانه PRCPTOT، شدت بارش SDII، تعداد روزهای با بارش بیشتر از ۲۰ میلی‌مترR20mm ، روز خیلی مرطوب R95p، در نیمی از ایستگاه‌ها شاهد روندی معنادار هستند که در اکثر این ایستگاه‌ها روند از نوع افزایشی معنادار مشاهده شد (غیر از SDII که غیر از زشک برای تمام ایستگاه‌ها روندی کاهشی دارد). شاخص‌های بیشترین تعداد

۱ نویسنده مسئول ۰۵۱۳۸۸۰۵۷۱۵

Email: mousavi@um.ac.ir

روزهای تر و خشـک متوالی CWD و CDD؛ در تعداد اندکی از ایسـتگاه‌ها روند معنادار دارد. ایسـتگاه سـبزوار در هیچ‌کدام از شـاخص‌های حدی روند معناداری را مشـاهده نمی‌کند؛ درحالی‌که ایسـتگاه‌های زشـک، پنگجه آبشـار و فرهادگرد در اکثر شـاخص‌ها روند معنادار و از نوع افزایشـی دارد. رفتار روند رخدادهای حدی در ایستگاه‌های منتخب بسیار نامنظم است؛ مثلاً در دو ایستگاه پنگجه آبشار و باراریه چهارباغ که فاصله مکانی کمی با یکدیگر دارند، رفتار آن‌ها کاملاً ناهمسو است. نتایج این مطالعه تغییرات چشمگیر و ناهمسانی در اندازه و نوع روند در شاخص حدی بارشی، با تغییر مکان ایستگاه نشان می‌دهد.
کلیدواژه‌ها: آزمون آماری ناپارامتری من-کندال، بارش‌های حدی، تغییر اقلیم، معناداری روند، وقایع حدی بارشی.

۱- مقدمه

در حال حاضر حدود ۵ دهه از حاکمیت صنعت بر جوامع بشری می‌گذرد و این حاکمیت باعث تغییرات عمده‌ای در اقلیم و گرمایش جهانی زمین و به‌تبع آن چالش‌های جهانی و تهدیدهای جدی برای محیط‌زیست کره زمین شده است که عمده‌ترین دلیل آن شدت یافتن فعالیت‌های صنعتی انسان است. افزایش جهانی دمای کره زمین باعث ذوب شدن یخ‌های قطبی، بالا آمدن سطح آب‌های آزاد اقیانوسی و بی‌نظمی در پدیده‌های آب و هوایی شده است. در مطالعاتی که معطوف به موضوع تغییر اقلیم هستند، یکی از عوامل کلیدی، بررسی چگونگی روند تغییرات وقایع حدی است (Zwiers et al, 2013). یک واقعه حدی، یعنی رخ دادن پدیده‌ای که از دیدگاه آماری احتمال وقوع آن خیلی کم بوده و دوره بازگشتی طولانی دارد؛ به‌عبارت‌دیگر وقایع حدی از نظر فراوانی، تعداد وقوع کمی دارند اما شدت رخداد آن زیاد است و معمولاً هنگام وقوع اکوسیستم‌ها و زندگی انسان‌ها را با تغییرات و مشکلات جدی روبه‌رو می‌کند (عرفانیان و همکاران،۱۳۹۳). به‌طور متوسط احتمال وقوع این رخدادها کمتر از ۵ ٪ است (Zhu & Toth, 2001). سیل و باران‌های شدید رگباری، خشکسالی، یخبندان، موج گرما، توفان و ... ازجمله وقایع حدی است. وقایع حدی آب و هوایی به دلیل تأثیراتی که بر زندگی و اقتصاد بشر و نیز اکوسیستم‌های طبیعی برجای می‌گذارد، در دهه‌های اخیر به یک مسئله اساسی در سراسر جهان تبدیل شده است (Rosenzweig et al., 2001; Aguilar et al., 2009; Zwiers et al, 2013). چهارمین گزارش ارزیابی IPCC[1] بیان می‌دارد که تعداد روزهای خیلی گرم و شب‌های گرم با احتمال زیادی در بیش از ۷۰٪ خشکی‌های کره زمین افزایش و روز و شب‌های سرد نیز با احتمال زیادی کاهش می‌یابد. بارش‌های حدی در اکثر مناطق عرض‌های میانه افزایش و نیز کل مناطقی که تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرند روندی افزایشی را از سال ۱۹۷۰ شاهد خواهند بود (IPCC., 2014 & 2007 Alexander et al., 2006;)؛ بنابراین امروزه بررسی هر چه دقیق‌تر تغییر رفتار رخدادهای حدی به یکی از مهم‌ترین موضوعات

1 IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

مطالعاتی محققین این حوزه تبدیل شـــده اســـت، مثلاً کیگنهاف و همکاران روند ۱۱ شـــاخص حدی بارشـــی و ۱۴ شـاخص دمایی را -از مجموع شـاخص‌های توصـیه شـده توسـط سـازمان جهانی هواشـناسی[1]- در گرجستان مورد مطالعه قرار دادند. مطالعات این محققین نشـان داد اکثر شـاخص‌های حدی دما روند افزایشـی معنادار و شـاخص‌های بارش روند افزایشـی یا کاهشـی دارند (Keggenhoff et al., 2014). جیانگ و همکاران شـاخص‌های حدی دمایی را در شـمال و جنوب منطقه کوهسـتانی کیونلینگ[2] کشـور چین با اسـتفاده از روند خطی و آنالیز همبسـتگی محاسـبه و تحلیل کردند. نتایج آنها نشـان داد که شـاخص‌های دمایی سرد مثل TX10، TN10، ID، FD و CSDI روند کاهشی و شـــاخص‌های دمایی گرم مثل TN90، TX90، SU، TR و WSDI روند افزایشـــی و شـــاخص‌های حدی دمایی مثل TNn، TXn، TXx و TXn روند کاهشی مشاهده کرده‌اند (Jiang et al., 2015).

در ســـال ۲۰۱۶ ســـان و همکاران مطالعه جامعی برای تغییرات وقایع حدی بارش و دما در لوئس پلاتیو[3] کشـــور چین (۱۹۶۰ تا ۲۰۱۳) انجام دادند و تأثیر تغییر اقلیم بر روند و معناداری روند برای ۱۲ شـاخص دمایی و ۱۰ شـاخص بارشـی مورد مطالعه قرار دادند (Sun et al., 2016). امروزه کاملاً ثابت شـده اسـت که تغییر در شدت و فراوانی وقایع حـدی بـه‌مراتـب اثر مخرب‌تری نسـبت به تغییر در حالت متوســـط اقلیمی دارد (Mearns et al., 2001؛ Katz & Brown., 2004). همین نگرانی‌ها موجب شـــده که چگونگی تغییر شـــاخص‌های اقلیمی حدی مثل دما و بارش مورد توجه و مطالعه قرار گیرد. در کشـــور ایران در این زمینه مطالعات اندکی صـــورت گرفته اســـت. مطالعه شـــاخص‌های حدی دما و بارش در ایسـتگاه تهران، که نتایج آن حکایت از افزایش روند دمای حداکثر، حداقل و متوسـط روزانه و نیز کاهش روند شـاخص‌های حدی بارش با شـیب بسـیار کم دارد (محمدی و تقوی، ۱۳۸٤). تغییر رفتار شـاخص‌های حدی دما و بارش اسـتان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های روزانه دما و بارش برای مشهد، تربت‌حیدریه و سبزوار (۱۹۶۱-۲۰۱۰) و تعیین معناداری روند شـــاخص‌ها با اســـتفاده از آزمون من-کندال، که نتایج آن برای شـــاخص‌های بارشی نشان‌دهنده نوسانات زیاد و عمدتاً شیب کاهشی اندک بوده است (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۳).

در مطـالعـه دیگری توســـط ورشـــاویان و همکاران (۱۳۸۸)، روند تغییر مقادیر حدی دما و بارش در چند نمونه اقلیمی شـامل شـهرهای بوشـهر، تبریز، تهران، مهرآباد، زاهدان، شـیراز، کرمان، کرمانشـاه و مشهد؛ برای ۱۹۶۱ تا ۲۰۰٤ مورد مطـالعـه قرار گرفت. این ایســـتگاه‌ها بر اســـاس طبقه‌بندی کوپن معرف مناطق اقلیمی بیابانی، اســـتپی و معتدل مرطوب هسـتند. بررسـی نرمال بودن داده‌ها به کمک آزمون کولموگروف-اسـمیرنوف اصـلاح شده (لی لی فورس) و تحلیل روند داده‌ها به کمک آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری رگرسـیون خطـــــــی کمترین توان‌های دوم، ضـریب همبسـتگی خطی پیرسـون، و اسـپیرمن و من-کندال صورت گرفت. آنچه از بررسی منابع انجام شده در سراسر دنیا و

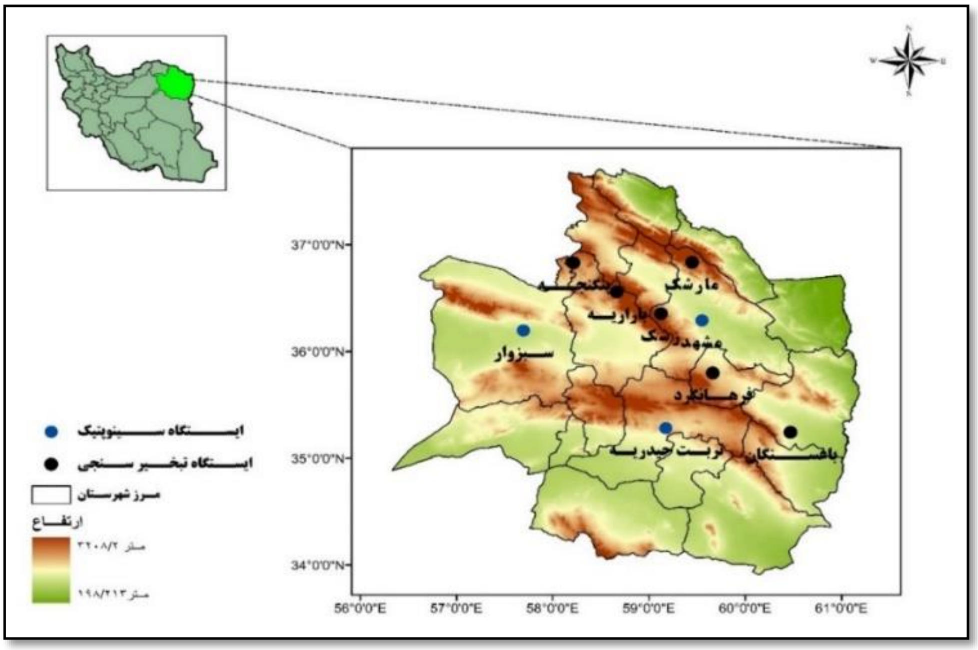
1 WMO: World Meteorological Organization
2 Qinling Mountains (in china)
3 Loess Plateau (in China)

کشـور ایران برمی‌آید، اهمیت زیاد مطالعه روند شـاخص‌های حدی به‌صورت دقیق و جامع برای تمام مناطق دنیا است کـه بـا توجـه بـه گرم شـــدن کره زمین و تأثیرات اقلیمی که برجای می‌گذارد می‌توان بیش‌ازپیش به اهمیت این‌گونه مطالعات پی برد. هدف اصـلی مطالعه حال حاضـر بررسـی تأثیر تغییر اقلیم بر روند وقایع فرین بارشـی استان خراسان رضـوی و نیز تعیین همگنی داده‌های بارش برای محاسبه هر چه دقیق‌تر تغییرات وقایع حدی بارشی و همچنین تعیین روند و معناداری آماری روند در هر یک از این شـــاخص‌ها اســـت. نتیجه این مطالعه در بخش‌های مختلف مرتبط با تغییرات اقلیمی خصـوصـاً منابع آب و کشـاورزی که مسـتقیماً متأثر از این پدیده‌ها و تغییرات آن هسـتند بسیار لازم و ضروری می‌نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌ها و محدوده مورد مطالعه

برای انجام این مطالعه داده‌های روزانه بارش ۳ ایسـتگاه سـینوپتیک مشـهد، تربت‌حیدریه و سـبزوار و ٦ ایسـتگاه تبخیرسـنجی مارشـک، زشـک خراسـان، باراریه چهارباغ، پنگجه آبشـار، باغسـنگان تربت‌جام و فرهادگرد فریمان که دارای دوره زمانی بلندمدت بودند برای سـال‌های ۲۰۱۳-۱۹۷۵ اسـتفاده شد. شکل شماره ۱ موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه و جدول شماره ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیر سنجی منتخب مستقر در استان خراسان رضوی.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیر سنجی منتخب مطالعه حال حاضر.

کد ایستگاه	ارتفاع (m)	طول جغرافیایی (°E)	عرض جغرافیایی (°N)	نام ایستگاه
۴۰۷۴۵	۹۹۹/۲	۵۹/۳۸	۳۶/۱۶	مشهد
۴۰۷۶۲	۱۴۵۰/۸	۵۹/۱۳	۳۵/۱۶	تربت حیدریه
۴۰۷۴۳	۹۷۲	۵۷/۳۹	۳۶/۱۲	سبزوار
۶۴-۰۴۲	۱۸۳۰	۵۲/۵۴	۳۶/۸	مارشک
۶۴-۰۱۷	۱۸۳۲	۵۹/۱۹	۳۶/۳۳	زشک خراسان
۴۷-۰۴۹	۱۷۰۳	۵۸/۲۶	۳۶/۸۲	پنگجه آبشار
۴۷-۰۴۳	۱۵۹۹	۵۸/۷	۳۶/۴۵	بار اریه-چهار باغ
۶۲-۰۰۲	۱۵۰۳	۵۹/۷۳	۳۵/۷۶	فرهادگرد فریمان
۶۲-۰۰۶	۹۳۷	۶۰/۶	۳۵/۲۲	باغسنگان تربت جام

۲-۲- بررسی همگنی داده‌های ایستگاه‌ها

قبـل از تحلیـل در مورد رونـد و نیز معنـاداری روند در شـــاخص‌ها، باید همگنی و یکنواختی ســـری‌های زمانی بلندمدت داده‌های بارش مورد بررســی قرار گیرند. بررســی همگنی و همگن‌ســازی سـری‌های زمانی ناهمگن، توسط بســته نرم‌افزاری RHtests-dlyPrcp صــورت گرفت. این بســته که به‌طور خاص برای همگن کردن ســری‌های زمانی بارشــی مورد اســتفاده قرار می‌گیرد، در ١٤ آگوســت ۲۰۱۳ به‌صــورت آنلاین در اختیار عموم قرار گرفت[1] و به کمک الگوریتمی موســـوم به PMFred-trans[2] و با اســـتفاده از داده‌های حاصــــل از تبدیل باکس–کاکس[3]، به‌طور ویژه برای داده‌های بدون ســری مرجع مورد اســتفاده قرارمی گیرد. ازآنجاکه داده‌های بارش دارای توزیع نرمال نیســتند، استفاده از تبدیل باکس–کاکس ضروری است (Wang & Feng., 2013).

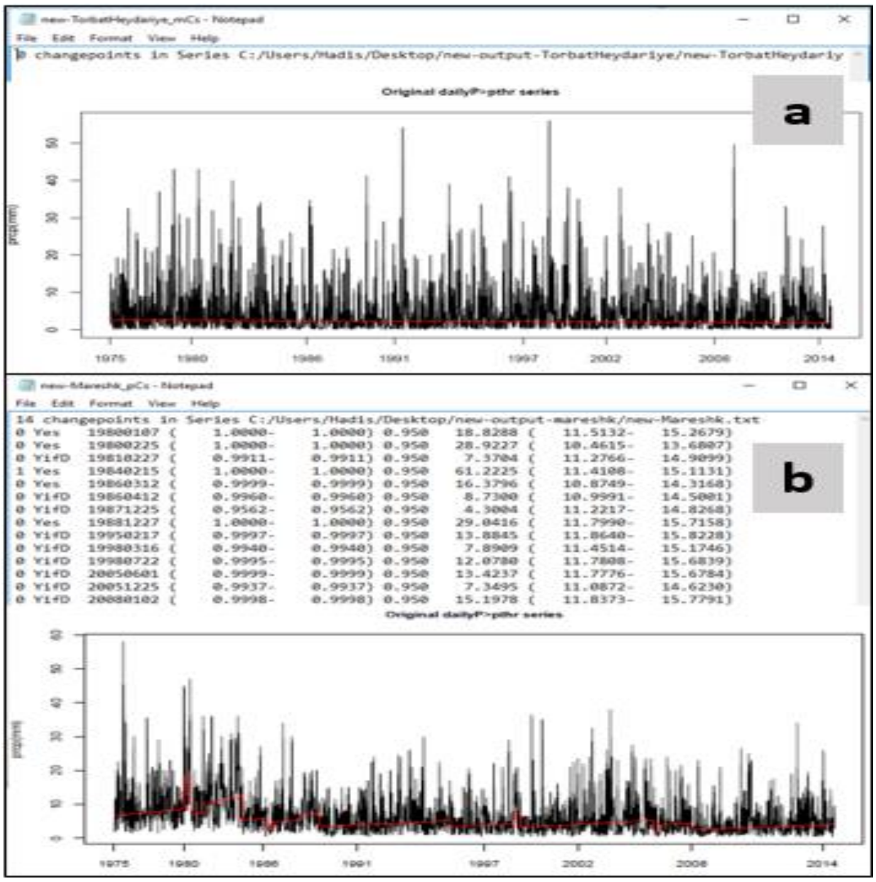
بارش روزانه هم از لحاظ زمان و هم مکان بســیار متغیر اســت به‌طوری‌که مثلاً در یک طرف خیابان می‌تواند بارش وجود داشــته باشــد و در طرف دیگر نباشــد؛ بنابراین سری مرجع مناسبی برای داده‌های بارش روزانه در اکثر نقاط دنیا و خصــوصــاً منطقه مورد مطالعه این تحقیق وجود ندارد، زیرا اندازه‌گیری‌های موازی[4] و به فواصل برابر انجام نمی‌شود. پس بارش روزانه فرایندی پیوســته نیســت و از دیدگاه آماری یک ســری زمانی در حوزه زمان اســت یعنی اینکه اگر گام‌های زمانی اندازه‌گیری کوچک شــود، مقادیر آن می‌تواند قابل توجه نباشد و یا کلاً صفر بوده و تغییرات چشمگیری نداشــته باشــد؛ بنابراین اصــطلاحاً گفته می‌شــود بارش پیوســته نیست. در این‌گونه موارد در اولین برخورد با یک سری زمانی بارش روزانه، باید نقاط شــکســت[5] از بین برود و بررســی شــود که آیا ســری‌های زمانی همگن هســتند و نقطه

1 http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml
2 PMFred algorithm: penalized maximal *F* (PMF) test
3 Box-Cox transformation
4 Parallel measurements
5 Change point

شـکسـتی دارند یا خیر. در میان داده‌های مورد مطالعه، سـه ایسـتگاه مشـهد، تربت‌حیدریه و بار اریه چهارباغ از ابتدا همگن بودند و مابقی ٦ ایستگاه ناهمگن بودند. حال نیاز است نقاط شکست این ٦ ایستگاه ناهمگن شناسایی شده و داده‌های آنها اصـلاح شـوند تا سری زمانی همگن شود. روش همگن‌سازی سری‌های زمانی با متا دیتا و بدون متا دیتا، تفاوت‌هایی با یکدیگر دارد (در بین داده‌های ۹ ایستگاه مورد مطالعه، ایستگاه‌های سینوپتیک بدون متا دیتا و ایستگاه‌های تبخیر سنجی با متا دیتا بودند). ابتدا باید داده‌ها به فرمت دلخواه بسته نرم‌افزاری تبدیل شـود. این فرمت یک فایل نوشـتاری[1] متشـکل از چهار سـتون اسـت. سـتون اول سال، ستون دوم ماه، ستون سوم روز و ستون آخر مقدار بارش دیده بانی شده برای آن روز اسـت (حتماً تاریخ‌ها باید از شـمسی به میلادی تبدیل شوند). هر جا داده ندارد باید کد داده گم شده برای آن وارد شـود (در این مطالعه کد ۹۹۹/۹- بجای داده‌های گم شـده وارد شـد). بسـته نرم‌افزاری RHtests-dlyPrcp سـه تابع را برای تشـخیص و رفع نقاط شـکسـت غیر طبیعی موجود در سـری‌های بارش روزانه اسـتفاده می‌کند، بدون اینکه از سـری مرجعی استفاده کند (Wang & Feng., 2013).

در مرحله اول داده‌های هرکدام از ایستگاه‌ها توسط تابع FindU بررسی می‌شوند. پس از اعمال این تابع در همان مسـیر دایرکتوری که داده وجود دارد، ۵ فایل ایجاد می‌شـود. با باز کردن فایل نوشتاری mCs.* لیستی از نقاط شکست موجود در سـری، به همراه تاریخ آن نشـان داده می‌شود. اگر در این لیست پیغام"0 changepoints in Series" مشاهده شـد، یعنی سـری همگن بوده و نقطه شـکستی ندارد؛ اما اگر لیستی از نقاط شکست وجود داشت یعنی سری ناهمگن اسـت و نقطه شـکسـت‌های موجود در لیسـت -که تاریخ وقوعشـان قید شـده- باید اصلاح شوند. در این مرحله بین سـری‌های با متادیتا و بدون متادیتا تفاوت‌هایی وجود دارد. اگر سـری بدون متادیتا و ناهمگن بود باید به سراغ گام بعد رفت ولی اگر متادیتای قابل اعتمادی از ایسـتگاه وجود داشـت که در آن تاریخ، هرگونه تغییر در موقعیت ایسـتگاه، سـاعات دیده بانی، تغییر ابزارهای دیده بانی و دقت اندازه‌گیری‌ها و ... ثبت شـده بود، باید پس از اعمال تابع FindU؛ تابع FindUD را هم اعمال کرد. سـپس نقاط شـکسـتی را که از اعمال تابع به دسـت آمد، با متادیتای ایسـتگاه مقایسه کرده و اگر هرگونـه تغییری در موقعیت ایسـتگاه، ابزار و یا سـاعات دیده بانی در متا دیتا وجود نداشـت، این نقطه شـکسـت از لیسـت حذف می‌شـود. پس از اعمال هر دو تابع FindU برای داده‌های با متادیتا/ بدون متادیتا و نیز تابع FindUD برای داده‌های با متا دیتا، اعمال تابع StepSize انجام می‌شـود تا هرگونه نقطه شـکسـت شـناسـایی شـده و حذف نشـده از لیسـت را مجدداً در سـری پیدا کرده و تأیید کند که نقطه شـکسـتی واقعی بوده یا خیر (پیغام و نمودار حاصـل از تابع FindU برای یک سـری زمانی همگن بدون متا دیتا در قسـمت a (ایسـتگاه تربت‌حیدریه) و نیز پیغام و نمودار حاصـل از اعمال تابع FindU و FindUD برای یک سری زمانی ناهمگن با متادیتا (ایستگاه مارشک) در قسمت b شکل ۲ نشان داده شده است).

1 Text file



شکل ۲- الف: پیغام و نمودار حاصل از اعمال تابع FindU برای سری زمانی همگن تربت‌حیدریه، بدون متا دیتا.
ب: پیغام و نمودار حاصل از اعمال تابع FindU و FindUD برای سری زمانی ناهمگن مارشک، با متادیتا.

۲-۳- محاسبه شاخص‌های حدی بارش روزانه

محاسـبه شـاخص‌های حدی بارش توسط بسته نرم‌افزاری RClimDex 1.0 صورت گرفت. در این بسته لیستی از شـاخص‌های حدی بارشـی و دمایی وجود دارد که محقق بسـته به هدف خود می‌تواند هرکدام از آنها را انتخاب کند. به‌طور کل شـاخص‌های بارشـی در دو دسـته طبقه‌بندی می‌شـوند. یک عده از شـاخص‌ها مبتنی بر شـدت بارش بر حسـب واحد mm یا mm/days هستند و عده دیگر مبتنی بر مدت بارش یا تعداد روز بارشی و برحسب واحد days هسـتند. در این مطالعه تعداد ۱۱ شـاخص بارشـی مورد تأیید سـازمان جهانی هواشـناسـی، برای ایسـتگاه‌های منتخب خراسان رضوی مورد محاسبه و مطالعه قرار گرفت (جدول شماره ۲).

جدول ۲- شاخص‌های بارشی مورد محاسبه در این مطالعه و مشخصات آنها.

نام شاخص	نوع شاخص	تعریف شاخص	تشریح شاخص
PRCPTOT	شدت بارش (mm)	مجموع بارش سالانه	مجموع بارش های روزانه کل سال(بیشتر از ۰,۱ میلیمتر)
SDII	شدت بارش (mm/days)	شدت ساده بارش روزانه	بارش سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب
R99 R95	شدت بارش (mm)	روز فوق العاده مرطوب روز خیلی مرطوب	مجموع بارش روزهایی با میزان بارش بیشتر از صدک ۹۹ ام (۹۵ام)
RX5day RX1day	شدت بارش (mm)	بیشترین مقدار بارش ۵ روزه بیشترین مقدار بارش ۱ روزه	ماکسیمم مقدار سالانه بارش ۵ روزه (۱ روزه)
CWD	تعداد روز بارش (days)	روزهای تر متوالی	بیشترین تعداد روزهای تر متوالی
CDD	تعداد روز بارش (days)	روزهای خشک متوالی	بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی
R1mm R10mm R20mm	تعداد روز بارش (days)	تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۱ ، ۱۰ و ۲۰ میلیمتر	تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۱ میلیمتر (۱۰میلیمتر / ۲۰ میلیمتر)

۲-٤- معناداری روند در شاخص‌های حدی بارشی

پس از محاسبه شاخص‌ها و روند در آنها و نیز نمودارهای هر شاخص، نیاز به استفاده از آزمونی آماری جهت تعیین معناداری روند در شاخص مورد نظر است. در این مطالعه آزمون آماری ناپارامتری من-کندال استفاده شد. روش من-کندال ابتدا توسط مَن (Mann., 1945) ارائه و سپس توسط کندال (Kendall., 1970) بسط و توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در این روش ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس‌ازآن محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\operatorname{sgn}\left(x_j-x_k\right)$$

که n تعداد مشاهدات سری، و xj و xk به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. تابع علامت sgn نیز به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\operatorname{sgn}\left(x_j-x_k\right)=+1 \quad \text{for (xj-xk)>0}$$
$$\operatorname{sgn}\left(x_j-x_k\right)=0 \quad \text{for (xj-xk)=0}$$
$$\operatorname{sgn}\left(x_j-x_k\right)=-1 \quad \text{for (xj-xk)<0}$$

در مرحله بعد محاسبه واریانس S توسط یکی از روابط زیر انجام می‌شود:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{for } n>10$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{for } n<10$$

کـه n و m معرف تعـداد دنبـالـه‌هایی اســـت که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌هـای بـا ارزش یکســـان در یـک دنباله (تعداد گره‌ها) می‌باشـــد. درنهایت نیز آماره Z به کمک یکی از روابط زیر استخراج می‌شود:

$$z = \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} \quad \text{for } S>0$$

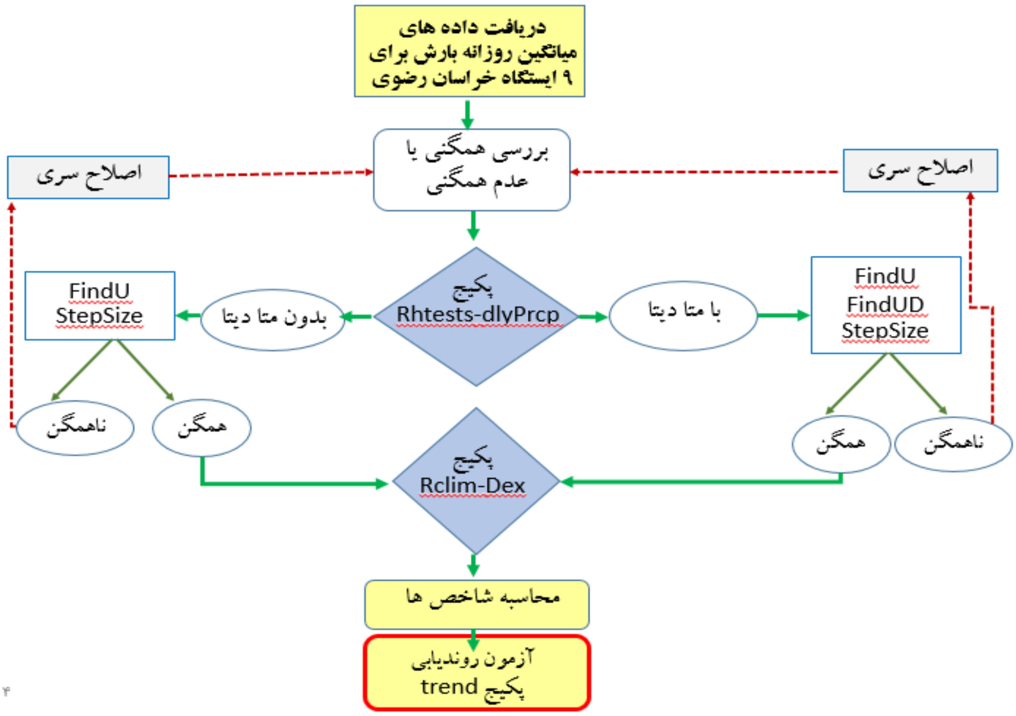
$$z = 0 \quad \text{for } S=0$$

$$z = \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \quad \text{for } S<0$$

با فرض دو دامنه بودن آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد:

$$|Z| < Z_{\alpha/2}$$

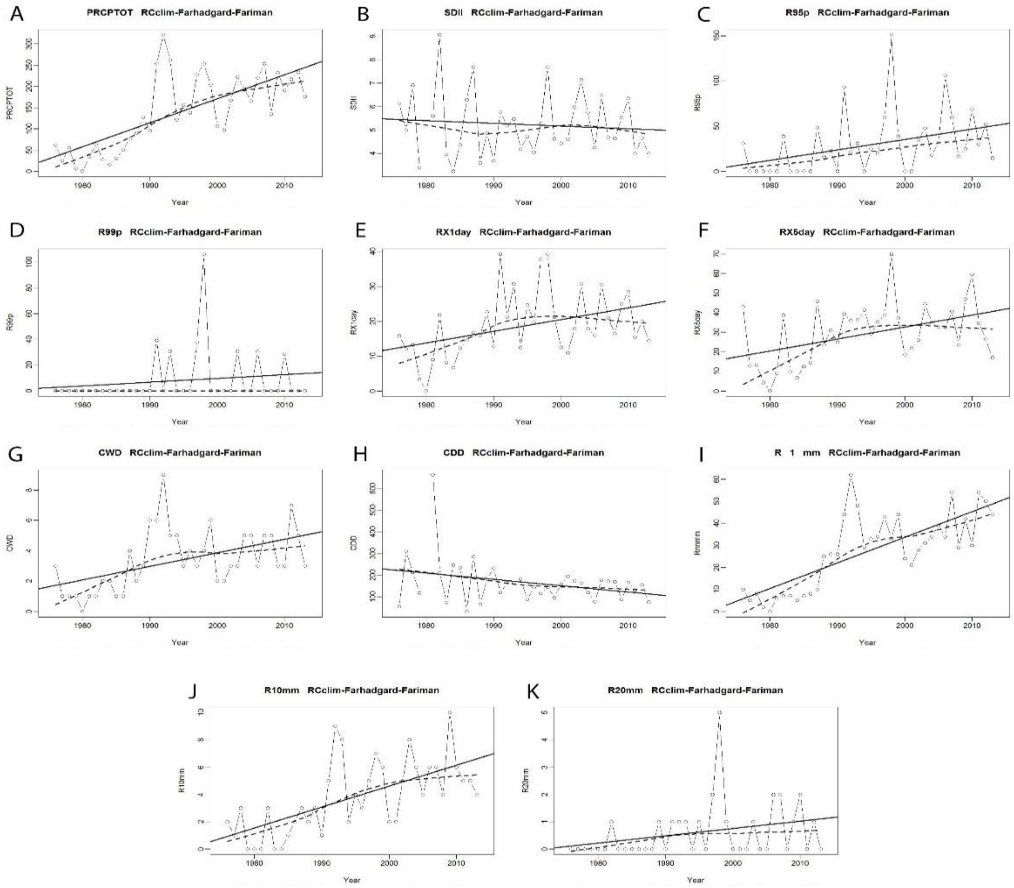
α سـطح معنی‌داری برای آزمون و $Z\alpha$ آماره توزیع نرمال اسـتاندارد در سـطح α می‌باشـد. در بررسـی حاضر این آزمون برای سـطح اعتماد ۹۵ ٪ به کار گرفته شـد. درصـورتی‌که آماره Z مثبت باشـد روند سری داده‌ها صعودی و در صـورت منفی بودن آن روند نزولی می‌باشـد. برای محاسـبه معناداری روند به روش من–کندال، در این مطالعه از بسته نرم‌افزاری trend اسـتفاده شـد. با توجه به سـطح اطمینان –که برای این مطالعه ۹۵ درصـد در نظر گرفته شـده اسـت– فرض صـفر آزمون قبول و یا رد می‌شـود. در صـورت رد نشـدن فرض صفر، یعنی آماره آزمون بین ۱/۹۶+ و ۱/۹۶– قرار داشـته و روند موجود در شـاخص معنادار نیسـت و وقوع آن در اثر عوامل تصـادفی است؛ اما اگر فرض صفر رد شـود (فرض یک قبول شـود) بدان معناسـت که آماره آزمون از ۱/۹۶+ بیشتر و یا از ۱/۹۶– کمتر است، پس در فاصله اطمینان قرار نگرفته و در بازه خطا قرار دارد. در این حالت روند موجود در شـاخص که می‌تواند مثبت یا منفی باشـد، معنـادار و در اثر عوامـل غیرتصـادفی اجبـاری و در این مطالعه عوامل ناشـی از تغییر اقلیم و مؤثر بر رونددار کردن شاخص‌های حدی؛ می‌باشد. شکل شماره ۳، روش‌شناسی کلی مورد استفاده برای انجام این مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- روش‌شناسی مورد استفاده در مطالعه حال حاضر.

۳- نتایج و بحث

در این مطالعه همگنی و یکنواختی ۹ ایستگاه مستقر در استان خراسان رضوی توسط بسته نرم‌افزاری RHtests-dlyPrcp مورد بررسی قرار گرفته و سری‌های دارای نقطه شکست اصلاح و همگن شدند. سپس ۱۱ شاخص حدی بارشی شامل ٦ شاخص شدتی و ۵ شاخص مدتی برای هریک از این ایستگاه‌ها در سال‌های ۱۹۷۵-۲۰۱۳ محاسبه و نمودارهایی که روند در هر شاخص را نشان دهد ترسیم شد. شکل ٤ و جدول ۳ نمودارهای و آماره‌های مربوط به ۱۱ شاخص بارشی ایستگاه فرهادگرد فریمان به‌عنوان یکی از ایستگاهی که در اکثر شاخص‌ها شاهد روند معنادار (همگی افزایشی بودند) و شکل ۵ و جدول ٤ نمودارهای و آماره‌های مربوط به ایستگاه سبزوار را به‌عنوان ایستگاهی که در هیچ‌یک از شاخص‌ها روند افزایشی یا کاهشی معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ندارد، نشان می‌دهد.

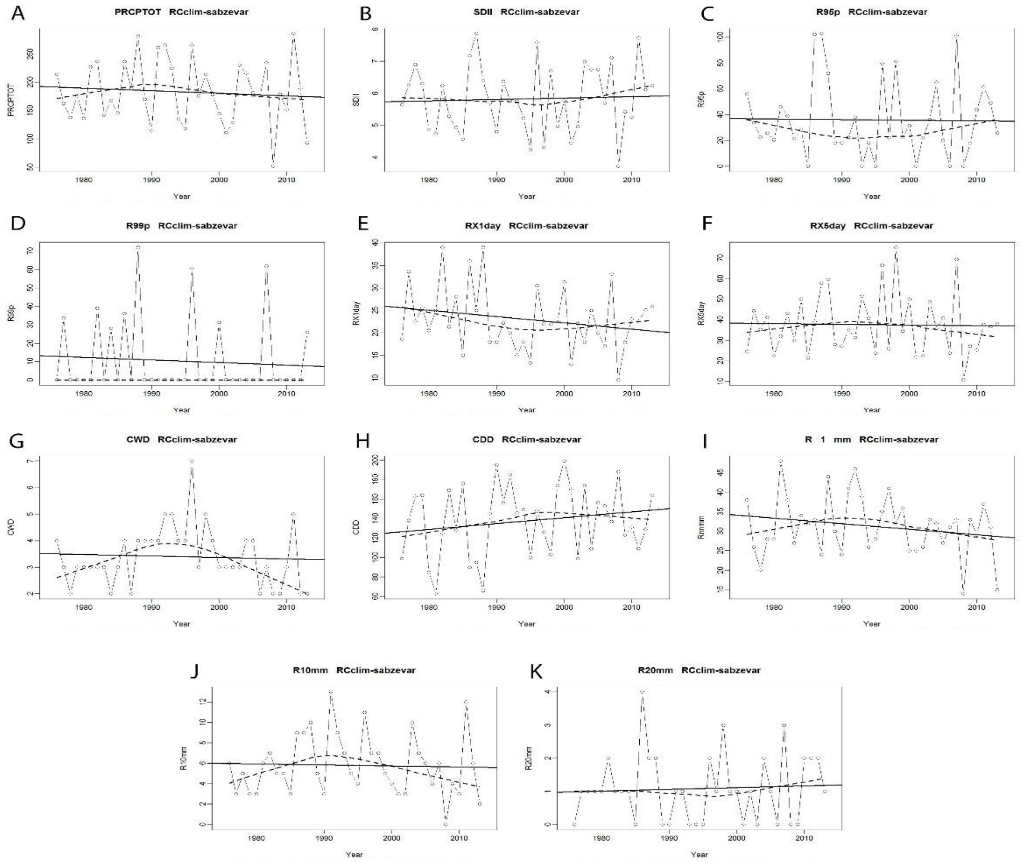


شکل ٤- روند در شاخص‌های شدتی و مدتی محاسبه شده برای ایستگاه فرهادگرد فریمان.

A: مجموع سـالانه، **B**: شـدت سـاده بارش روزانه، **C**: روز خیلی مرطوب، **D**: روز فوق‌العاده مرطوب، **E**: بیشـترین مقدار بارش ۱ روزه، **F**: بیشـترین مقدار بارش ۵ روزه، **G**: روزهای تر متوالی، **H**: روزهای خشـک متوالی، **I**: تعداد روزهایی در سـال با بارش بیشـتر از ۱ میلی‌متر، **J**: تعداد روزهایی در سـال با بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر و **K**: تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۲۰ میلی‌متر.

جدول ۳ - آماره‌های آزمون من-کندال برای شاخص‌های حدی بارشی ایستگاه فرهادگرد فریمان.

فرهادگرد فریمان	S	VarS	Z	tau	Pvalue
PRCPTOT	349	5845	4.6	0.524	0.0000053
SDII	0	5374	0	0	1
R95p	237	5576.333	3.2	0.356	0.0015757
R99p	54	2703.333	1	0.081	0.30803
RX1day	200	5846	2.6	0.3	0.0092494
RX5day	223	5845	2.9	0.335	0.0036871
CWD	262	5641.333	3.5	0.393	0.00051093
CDD	-51	5843	-0.7	-0.077	0.51304
R1mm	383	5829	5	0.575	0.00000056
R10mm	310	5749.333	4.1	0.465	0.0000459
R20mm	138	4454.667	2.1	0. 207	0.040107



شکل ۵- روند در شاخص‌های شدتی و مدتی محاسبه شده برای ایستگاه سبزوار.

A: مجموع سالانه، **B**: شدت ساده بارش روزانه، **C**: روز خیلی مرطوب، **D**: روز فوق‌العاده مرطوب، **E**: بیشترین مقدار بارش ۱ روزه، **F**: بیشترین مقدار بارش ۵ روزه، **G**: روزهای تر متوالی، **H**: روزهای خشک متوالی، **I**: تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۱ میلی‌متر، **J**: تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر و **K**: تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۲۰ میلی‌متر.

جدول ٤- آماره‌های آزمون من-کندال برای شاخص‌های حدی بارشی ایستگاه سبزوار.

سبزوار	S	VarS	Z	tau	Pvalue
PRCPTOT	-4	5846	0	-0.006	0.9687
SDII	17	5831.667	0.2	0.026	0.83404
R95p	-12	5814	-0.1	-0.018	0.88529
R99p	-44	3284	-0.8	-0.066	0.45304
RX1day	-82	5830.667	-1.1	-0.123	0.28879
RX5day	-44	5844	-0.6	-0.066	0.57378
CWD	-18	5313.333	-0.2	-0.027	0.81559
CDD	58	5842	0.7	0.087	0.45582
R1mm	-36	5821.333	-0.5	-0.054	0.64643
R10mm	-25	5713.667	-0.3	-0.038	0.75086
R20mm	-1	5206.333	0	-0.002	1

همانند نمودارها و آماره‌های نمایش داده شـده در جدول بالا، نمودارها و اشـکال دیگری برای سـایر ایسـتگاه‌ها نیز محاسـبه شـده اسـت. با توجه به شکل‌ها (شکل شماره ٤ و ٥)، روند در نمودارها قابل‌ملاحظه است اما با انجام آزمون آماری من–کندال مشـخص می‌شـود که می‌توان این روند را به‌عنوان روندی معنادار پذیرفت یا خیر. جدول شـماره ٥ معنـاداری در روندهای صـعودی یا نزولی برای کل ایسـتگاه‌های مورد مطالعه این تحقیق به همراه آماره عددی من–کندال نشان می‌دهد.

جدول ٥- آماره آزمون من-کندال شاخص‌های حدی بارشی ایستگاه‌های منتخب استان خراسان رضوی

(خانه‌های زردرنگ نشان‌دهنده معناداری در سطح خطای ٥ درصد است).

	mm or mm/days							days			
	PRCPTOT	SDII	R95p	R99p	RX1day	RX5day	CWD	CDD	R1mm	R10mm	R20mm
مشهد	-1.7	-0.1	-1.8	-1.6	-2	-2	-1.3	-1.3	-2.4	-2	-1.6
تربت حیدریه	-1.7	-1.3	-1.8	-1	-2	-1.2	-0.7	-0.5	-0.7	-1.6	-2.5
سبزوار	0	0.2	-0.1	-0.8	-1.1	-0.6	-0.2	0.7	-0.5	-0.3	0
مارشک	-1.1	-3.7	-0.7	-0.5	-0.9	-2	0	-1.3	2.2	-1.2	-0.3
زشک خراسان	3.9	6.4	5.6	4.1	5.3	4.9	0.5	0.1	-0.2	5.7	4.1
پنگجه آبشار	5.1	-0.6	2	1.5	2.7	2.7	4.8	-1.6	6	5	3
بار اریه-چهار باغ	-2.5	-4.7	-0.1	-1.7	-0.8	-1.4	0.6	-0.7	0.4	-2.1	-1.4
فرهادگرد فریمان	4.6	0	3.2	1	2.6	2.9	3.5	-0.7	5	4.1	2.1
باغسنگان تربت جام	1	-4.1	-1.8	-1.3	-1.7	-0.5	1.7	-2.1	3.1	0.1	-1.5

با مشـاهده جدول ٥ مشـخص می‌شود شاخص تعداد روزهایی از سال با بارش بیشتر از ۱ میلی‌مترR1mm و ۱۰ میلی‌متر R10mm، و نیز بیشـترین مقدار ٥ روز RX5day و ۱ روز RX1day متوالی بارشـی؛ شاخص‌هایی هستند که در اکثر ایسـتگاه‌های مورد مطالعه، شـاهد روند معنادار هسـتند (اکثراً افزایشـی و برخی کاهشی). شاخص‌های مجموع بارش سـالانه PRCPTOT، شـدت بارش SDII، تعداد روزهای با بارش بیشـتر از ۲۰ میلی‌مترR20mm ، روز خیلی مرطوب R95p، در نیمی از ایسـتگاه‌ها شـاهد روندی معنادار هسـتند که در اکثر این ایسـتگاه‌ها روند از نوع افزایشی و معنادار مشـاهده شـد (غیر از SDII). شـاخص‌های CWD، R99p و CDD؛ تنها در تعداد اندکی از ایسـتگاه‌ها روند معناداری را شـاهد اسـت که این روند برایCDD از نوع کاهشـی معنادار و برای CWD از نوع افزایشی معنادار است. اکثر شـاخص‌های غیرمعنادار روندی کاهشـی و به مقدار کم نشـان داده‌اند و چون از ۱/۹٦- کوچک‌تر نبوده، در سطح اطمینان ۹٥ درصـد معنادار نیسـتند. ایسـتگاه سـبزوار در هیچ‌کدام از شاخص‌ها روند معنادار ندارد. ایستگاه‌های زشک، پنگجه آبشـار و فرهادگرد؛ در اکثر شـاخص‌ها روند معنادار و از نوع افزایشـی و البته با شـدت بالا دارند. به‌طور کل شـاخص‌های حدی بارشـی در ایسـتگاه‌های منتخب اسـتان خراسان رضوی نشان دهنده نوسانات زیاد و در برخی از شـاخص‌ها شـیب کاهشـی و در برخی دیگر شیب افزایشی است. اگر ایستگاه‌های باغسنگان و تربت‌حیدریه به‌عنوان

مرکز استان در نظر گرفته شود، تقریباً اکثر شاخص‌های حدی آنها روندی کاهشی تحت تأثیر تغییر اقلیم نشان می‌دهد اما در سایر ۷ ایستگاه که معرف شمال استان هستند، رفتار روند شاخص‌ها بسیار نامنظم و ناهمسو است؛ بنابراین تغییر اقلیم و تفاوت و تمایز مکان و زمان بارندگی‌ها، تأثیرات ناهمسو و ناهمسانی بر روند شاخص‌های هر منطقه اعمال می‌کند.

٤- جمع‌بندی

در این مطالعه داده‌های روزانه بارش ۹ ایستگاه سینوپتیک و تبخیر سنجی فعال در استان خراسان رضوی برای سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۳ از لحاظ همگنی و یکنواختی، تعیین نقاط شکست و نیز رفع آن‌ها بررسی شد. سپس ۱۱ شاخص حدی بارشی مورد توصیه WMO برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه و روندهای موجود در هر شاخص تعیین شد و در پایان نیز با اعمال آزمون آماری من–کندال، معناداری روند موجود در هریک از شاخص‌ها، مورد آزمون قرار گرفت. شاخص‌های حدی بارشی ایستگاه‌های خراسان رضوی رفتار متفاوت و ناهمسویی را نشان می‌دهد که متأثر از روند افزایشی گرمایش جهانی و تغییر اقلیم و به‌تبع آن ناهماهنگی در توزیع زمانی و مکانی بارندگی‌هاست.

معناداری روند در شاخص PRCPTOT فقط در ایستگاه باراریه چهارباغ از نوع کاهشی است و در بین ایستگاه‌هایی که روند PRCPTOT آن‌ها معنادار شده است، تأثیر عوامل غیر تصادفی یا همان تغییر اقلیم منجر به افزایش مجموع بارش سالانه آنها شده است. در شاخص SDII نیز فقط در ایستگاه زشک روندی افزایشی نشان داده شده است و بنابراین تغییر اقلیم در اکثر ایستگاه‌هایی که روند آن‌ها معنادار است موجب کاهش شاخص شدت ساده بارش (مجموع بارش سالانه تقسیم‌بر تعداد روزهای مرطوب) شده است. روندهای معنادار R95p و R99p همگی از نوع افزایشی هستند اما در تعداد اندکی از ایستگاه‌ها روند افزایشی معنادار در این دو شاخص نشان داده شده است. روندهای معنادار در شاخص‌های RX1day و RX5day همگی افزایشی هستند غیر از مشهد و تربت‌حیدریه و سبزوار. تعداد روزهای خشک متوالی در سال، در ۸ ایستگاه، روند کاهشی نشان می‌دهد ولی این روند کاهشی فقط در باغسنگان تربت‌جام معنادار است که می‌توان آن را به عامل غیر تصادفی تغییر اقلیم مرتبط دانست. عمده روندهای معنادار در شاخص‌های تعداد روزهای با بارش بیشتر از ۱، ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر نیز از نوع افزایشی بوده‌اند (به‌جز در مشهد، تربت‌حیدریه و باراریه چهارباغ). درمجموع، تغییر رفتار رخدادهای حدی بارشی در اثر تغییر اقلیم بسیار نامنظم است مثلاً در دو ایستگاه پنگجه آبشار و باراریه چهارباغ که فاصله مکانی کمی با یکدیگر دارند، رفتار آن‌ها کاملاً ناهمسو است. نتایج این مطالعه تغییرات چشمگیر و ناهمسانی در اندازه و نوع روند در شاخص حدی بارشی، با تغییر مکان ایستگاه و نهایتاً نتایجی مشابه با مطالعاتی از این قبیل در اقصی نقاط دنیا نشان می‌دهد.

منابع

شیرمحمدی، زهرا؛ خانی، علی‌اکبر؛ انصاری، حسین؛ علیزاده، امین؛ محمدیان، آزاده؛ ۱۳۹۰. بررسی ارتباط پدیده انسو (ENSO) با مقادیر حدی بارش‌های فصلی در استان‌های خراسان. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*. شماره ۱۹، صص ۶۱-۷۹.

عرفانیان ارغوانیان سرشوری، مریم؛ انصاری، حسین؛ علیزاده، امین؛ بنایان اول، محمد؛ ۱۳۹۳. بررسی تغییرات شاخص‌های حدی هواشناسی در استان خراسان رضوی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. شماره ٤. صص ۸۱۷-۸۲۵.

محمّدی،حسین؛ تقوی، فرحناز؛ ۱۳۸٤. روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. *نشریه پژوهش‌های جغرافیایی*. شماره ۵۳. صص ۱۵۱-۱۷۲.

ورشاویان، وحید؛ خلیلی، علی؛ قهرمان، نوذر؛ حجام، سهراب؛ ۱۳۸۸. بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*. شماره ۳۷. صص ۱٦۹-۱۷۹.

Aguilar, E., Aziz Barry, A., Brunet, M., Ekang, L., Fernandes, A., Massoukina, M., Mbah, J., Mhanda, A., Do Nascimento, D., Peterson, T., 2009. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Res. Atmos. 114.

Alexander, L., Zhang, X., Peterson, T., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. J. Geophys. Res. Atmos. 111.

IPCC (2014a). “Summary for Policymakers.” In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by Stocker, T.F., et al., Cambridge: Cambridge University Press (online at http://climatechange2013.org/).

IPCC (2014b). Climate Change., 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press (online at http://climatechange2013.org/).

IPCC., 2007. In: Solomon,S., Qin,D., Manning,M., Chen,Z., Marquis,M., Averyt,K.B., Tignor,M., Miller,H.L. (Eds.) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to The Fourth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/ New York, USA. 996.

Jiang, Ch. Mu, X. Wang, F. Zhao, G., 2015. Analysis of extreme temperature events in the Qinling Mountains and surrounding area during 1960-2012. Quaternary International xxx. 1-13.

Katz,R.W., Brown, B.G., 2004. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. Journal of Climatic change. 21: 289-302.

Keggenhoff, I. Elizbarashvili, M. Amiri-Farahani, A. King, L., 2014.Trends in daily temperature and precipitation extreme sover Georgia., 1971–2010. Weather and Climate Extremes. 4:75–85.

Kendall, M.G., 1970, Rank Correlation Methods, 2nd Ed., New York: Hafner.

Mann, H.B., 1945, Nonparametric tests against trend, Econometrica, 13: 245-259

Mearns, L.O., Hulme, M., Carter, T.R., Leemans,R., Lal, M., Whetton, P., 2001. Climate scenario development. In: Houghton,J.T., Ding,Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Van der Linden, P.J., Dai,X., Maskell, K., Johnson, C.A. (editors) Climate change., 2001: The Scientific Basis,

Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge. 583-638.

Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X., Epstein, P.R., Chivian, E., 2001. Climate change and extreme weather events; implications for food production, plant diseases, and pests. Glob. Chang. Hum. Health. 2: 90–104.

Sun, W. Mu, X. Song,X. Wu, D. Cheng,F. Qiue, B., 2016. Changes in extreme temperature and precipitation events in the Loess Plateau (China) during 1960–2013 under global warming. Atmospheric Research 168: 33–48.

Wang, X. L. and Y. Feng., 2013. RHtests_dlyPrcp User Manual. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 17 pp.

Zhu, Y and Toth, Z., 2001. Extreme Weather Events and their Probabilistic Prediction by the NCEP Ensemble Forecast System, Proceedings of the symposium on Precipitation Extremes: Prediction, Impact, and Responses, Albuquerque, USA, 1-38.

Zwiers, F.W., Alexander, L.V., Hegerl, G.C., Knutson, T.R., Kossin, J.P., Naveau, P., Nicholls, N., Schär, C., Seneviratne, S.I., Zhang, X., 2013. Climate extremes: challenges in estimating and understanding recent changes in the frequency and intensity of extreme climate and weather events. Climate Science for Serving Society. Springer, 339–389.